

論文の要旨

題目) ポストテンション方式プレストレスト超高強度コンクリートはりへの内部養生材としての廃瓦骨材の適用性に関する実験的研究

Title) (Experimental Studies on Applicability of Roof Tile Waste Aggregates as an Internal Curing Agent to Posttensioned-Prestressed Ultra High Strength Concrete Beams)

氏名 佐久間 和弘

第1章 序論 (研究の背景, 目的)

今日の社会基盤施設はコンクリート構造物で構築されているものが多く、昨今の少子高齢化に伴う社会資本整備費の縮小より、そのライフサイクルコストを如何に抑制するかが求められている。かつ環境負荷低減、資源循環を念頭においた社会資本整備も重要な課題である。本研究は、廃棄物でありながらコンクリート部材の性能向上が期待できる廃瓦骨材で内部養生したポストテンション方式の超高強度 (UHSC) プレストレストコンクリート PC はり部材の力学特性 (クリープ・収縮特性, ひび割れ特性, せん断耐力等) を実験的に検討し、その適用性を検証することを目的としている。

第2章 既往の研究

本研究の主題である高強度コンクリートの自己収縮ひずみおよびその低減方法について、既往の研究成果を述べる。自己収縮の低減方法については、膨張材、収縮低減剤の効果、および内部養生とその継続性について述べる。さらに廃瓦骨材で内部養生した鉄筋コンクリート (RC) はりおよびプレテンション方式 PC はりの力学特性より、廃瓦骨材の内部養生材としての有効性を述べる。

第3章 廃瓦骨材を用いたコンクリートの強度特性

本研究では4種類のコンクリートを用いている。それらの材齢約1000日の圧縮強度特性として、基準配合 (H: 早強セメント使用, $W/B=0.44$) は、 $f'_c=59.3N/mm^2$, 超高強度配合 (UH: 早強セメント使用, 内部養生なし, $W/B=0.17$) で $f'_c=159.8N/mm^2$, 超高強度配合 (ULG20: 低熱セメント+シリカフェーム使用, 廃瓦粗骨材20%置換, $W/B=0.17$) で $f'_c=177.5N/mm^2$, 超高強度配合 (ULS35: 低熱セメント+シリカフェーム使用, 廃瓦細骨材35%置換, $W/B=0.17$) で $f'_c=170.7N/mm^2$ であった。超高強度配合では、材齢7日の圧縮強度は、 $UH > ULG20 > ULS35$ であったが、材齢約1000日ではULG20, ULS35ともに $170N/mm^2$ 以上の値が得られ、UHより7~11%大きい値であった。これは廃瓦骨材の内部養生効果に起因するもの考えられる。

第4章 PC はり部材の力学特性の検討

作製したPC はり部材のクリープ・収縮特性の検討、および載荷実験による曲げひび割れ特性、せん断強度特性等、PC はり部材の力学特性についての検討結果を以下に示す。

- ① 無拘束供試体から得られる各配合のコンクリートの収縮特性について、基準配合 (H) と比較して超高強度配合 (UH) は、約2倍の大きな収縮ひずみが計測された。ULG20,

ULS35 について、内部養生+膨張材+収縮低減剤の併用は、自己収縮低減に有効である一方、乾燥暴露以降に収縮が 100~200 μ 進展し、内部養生の乾燥後の収縮低減効果は認められなかった。ただし ULG20, ULS35 の乾燥収縮は基準配合より明らかに小さかった。

- ② PC はり部材の PC 鋼材の有効緊張応力推定法について、PC はり部材のひずみ経時変化より推定する方法と、ひび割れ再開口荷重より推定する方法を行った。有効緊張応力は、ひび割れ再開口荷重から求めた方が小さく、(ひび割れ再開口荷重による有効緊張応力) / (ひずみ経時変化による有効緊張応力) で 0.85~0.94 であった。
- ③ PC はり部材の上下 PC 鋼材位置に設置されている埋設ひずみ計より、プレストレス導入時以降の実測鋼材ひずみ、収縮ひずみ、材齢係数(文献を参考に設定)から、硬化過程にあり変動応力下でのクリープ特性を簡易にモデル化し、単位応力あたりのクリープひずみを推定する方法を検討した。得られたクリープひずみおよびクリープ係数の経時変化において、内部養生の効果は小さかった。
- ④ PC はり部材の破壊状況は、基準配合(H590, H790)が破壊側のせん断スパン内に水平との角度が 30° ~40° の斜めひび割れが発生したのち、等曲げ区間内の圧縮縁コンクリートが圧壊して破壊に至った。UHSC-PC はり部材(UH590, ULG20, ULS35)は、曲げせん断ひび割れが生じ、引張側鋼材にほぼ沿った支点側へのひび割れ進展によりせん断変位が急増し、支点と載荷点を結ぶ圧縮ストラットの形成とともに、ストラットの圧縮域コンクリートの圧壊により急激な破壊に至った。
- ⑤ UHSC-PC はり部材のたわみは、同断面の H590 のみならず桁高の大きい H790 よりも明らかに小さかった。この要因は、コンクリートのヤング係数の相違に加えて、導入プレストレスの大きな相違と考えられる。また、廃瓦置換の ULG20, ULS35 のたわみは無置換の UH590 より小さく、内部養生効果が認められた。ただし、ULG20 と ULS35 の内部養生効果には大きな相違はなかった。
- ⑥ 各 PC はり部材の斜めひび割れ耐力、終局せん断耐力を求めた結果、内部養生なし(UH590)と比較して、内部養生あり(ULG20, ULS35)は、斜めひび割れ耐力で 7~8%、終局せん断耐力で 9~10%増加した。さらに、H790 に対して、UHSC-PC はりの斜めひび割れ耐力、終局せん断耐力は 45~74%増加し、超高強度コンクリートを用いて桁高を小さく抑えることの優位性を確認できた。ULG20 と ULS35 のせん断耐力は同等で、廃瓦粗骨材と廃瓦細骨材の内部養生効果に大きな差異はなかった。

第 5 章 PC はり部材のせん断耐力の評価

4 章の載荷実験結果で得られた PC はり部材の斜めひび割れ耐力、終局せん断耐力について、既往の評価式を用いた計算値と実測値を比較し、評価式の適用性について考察した。

- ① 斜めひび割れ耐力の評価では、普通強度 ($12N/mm^2 \leq f'_c \leq 66 N/mm^2$) を対象とした二羽式、高強度コンクリート(適用範囲: $80 \sim 130N/mm^2$) を対象とした河金式を用いてせん断耐力値を求めた。いずれもプレストレスによる有効係数 β_n を乗じてプレストレ

スの効果を考慮した。二羽式は、基準配合（H590, H790）の計算値が実験値の 72～93%で比較的良好一致したが、適用範囲外と考えられる UHSC については実験値の 58～63%であった。河金式による計算値は、適用範囲より低めの基準配合（H590, H790）が実験値の 56～76%、適用範囲より高めの UHSC が実験値の 40%～46%と実験値との乖離が大きかった。

- ② Euro code のせん断抵抗力 $V_{Rd,c}$ と実験値（斜めひび割れ耐力）との比較では、基準配合（H590,H790）は、計算値/実験値で 79%～93%と比較的良好一致する結果が得られた。また、適用範囲（ $f'_{ck}=90N/mm^2$ 以下）外となる UHSC についても 71%～82%で、高強度コンクリートを対象とした河金式よりも実験結果との乖離は小さかった。
- ③ 特性長さ（ l_{ch} ）がせん断力の主因子となる河金式は、コンクリート強度の増大によって特性長さが短くなりコンクリートの負担せん断応力が低下するため、斜めひび割れ耐力を最も過小評価する結果となった。また、従来のプレストレスの影響評価（有効係数 β_n ）では UHSC-PC はり部材のせん断耐力を必ずしも説明できないことが明らかになった。
- ④ せん断スパン比 $a/d=2.5$ 程度を適用範囲とするが（本研究では $a/d=3.0$ ）、せん断圧縮破壊耐力式を用いて終局せん断耐力を計算した。基準配合（H590,H790）は、斜めひび割れ耐力と大きな差は認められないが、超高強度配合ではいずれも斜めひび割れ耐力の 1.5 倍程度大きい値となり、超高強度配合の計算値/実験値が 0.76～0.83 と依然として過小評価ではあるものの、実験結果との乖離が斜めひび割れ耐力時より小さくなった。斜めひび割れが載荷板と支点板の端部を結ぶ線上に現れ、それと平行に圧縮ストラットが形成され圧縮強度の依存性が高くなったためと考えられる。

第6章 結論

廃瓦骨材を用いた UHSC は、ポストテンション方式 PC はりに適用し、その内部養生効果より、従来の UHSC と同等もしくはそれ以上の性能が得られることが明らかになった。今後は、廃瓦骨材を内部養生材として用いた超高強度 PC 桁の実用化に向けた研究（設計法、耐久性検討）、廃瓦骨材を内部養生材として用いるコンクリートの PC 桁以外の展開に関する研究が考えられる。PC 桁以外の展開として、例えば連続鉄筋コンクリート舗装は、収縮に伴うひび割れ制御鉄筋が配筋されており、内部養生による収縮低減効果を利用して舗装コンクリート内のひび割れ制御鉄筋の鉄筋量を減らすことが可能であれば、より経済的な舗装構造が構築できるものとする。

以上